

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання розрахунково-графічної роботи
та самостійної роботи студентів
з дисципліни**

«Ресурсозбереження на транспорті»

*(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти
за напрямом (0922) 6.050702 «Електромеханіка»)*

Харків – ХНАМГ – 2011

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи та самостійної роботи студентів з дисципліни «Ресурсозбереження на транспорті» (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом (0922) 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Х. Далека, Ю. В. Мінеєва, О. С. Гордієнко, Н. В. Гарбуз, – Х.: ХНАМГ, 2011. – 35 с.

Укладачі: В. Х. Далека,
Ю. В. Мінеєва,
О. С. Гордієнко,
Н. В. Гарбуз

Рецензент: доцент кафедри «Електричний транспорт» ХНАМГ, к.т.н. М. І. Шпіка

Рекомендовано засіданням кафедри «Електричний транспорт»,
протокол № 2 від 21.09.10 р.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	5
ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ.....	6
1 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНІЧУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	8
2 РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	11
3 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК К.К.Д.....	13
4 РОЗРАХУНОК ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	17
5 ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ СИЛ ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКАМИ.....	19
6 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ І ВІДСОТКУ ВИКОРИСТАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	21
7 ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ РОЗБІЖНОСТЕЙ СИЛ ТЯГИ МІЖ ДВОМА КОЛІСНИМИ ПАРАМИ.....	24
7.1 Розбіжність магнітних характеристик двигунів.....	25
7.2 Розбіжність опорів якірного ланцюгу.....	27

7.3 Розбіжність опорів ланцюгів збудження.....	29
7.4 Розбіжність діаметрів бандажів колісних пар.....	31
 8 СУКУПНИЙ ВПЛИВ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ СИЛ ТЯГИ КОЛІСНИХ ПАР ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА.....	 33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	34

ВСТУП

Виходячи з аналізу причин кризового стану електротранспорту, основним напрямком стабілізації роботи та розвитку є впровадження заходів з ресурсозбереження, що потребує розробки наукових основ раціонального використання ресурсів. Фактичний стан ресурсозбереження на міському електротранспорті, його законодавче, нормативне, технічне і наукове забезпечення, а також потреби галузі показують, що проблема раціонального споживання ресурсів є в даний час однією з основних і актуальних наукових проблем. Тому в сучасних економічних умовах господарювання при зростанні витрат паливно-енергетичних та інших ресурсів, при обмеженні коштів стає особливо актуальним для МЕТ розробка та впровадження проектів ресурсозбереження.

Ресурсозбереження на міському електричному транспорті значною мірою залежить від стабільності електромеханічних характеристик тягових двигунів і сил зчеплення коліс з рейками.

Під час виконання розрахунково-графічної і самостійної роботи з дисципліни "Ресурсозбереження на транспорті" студенту потрібно оцінити вплив на використання встановленої потужності сил зчеплення і розходження характеристик тягових двигунів трамвайного вагону Т-3. Студентам пропонуються 40 варіантів завдань. **Виконання одного й того ж варіанту студентами однієї групи не допускається.**

ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ

№ варіанту	Коефіцієнт зчеплення колеса з чистими рейками, $\psi_{\text{чист}}$	Коефіцієнт зчеплення колеса з брудними рейками, $\psi_{\text{бруд}}$	Номінальна напруга, U_n , В	Номінальна потужність, P_n , кВт	Номінальний коефіцієнт корисної дії, η_n , %	Номінальна частота обертання, n_n , об/хв	Число витків обмотки збудження, W_{03} , витків	Температура гарячого двигуна, Θ_2 , °С	Число активних провідників якоря, N , провідників	Передатне відношення редуктора, μ	Діаметр якоря, D_a , мм	Діаметр колектора, $D_{\text{кол}}$, мм	Коефіцієнти ослаблення поля	
													$\gamma_{\text{он1}}$	$\gamma_{\text{он2}}$
1	0,15	0,05	295	41	95	1730	20	100	285	7,39	208	195	0,74	0,64
2	0,14	0,04	290	40	94	1725	21	105	290	7,41	210	196	0,75	0,65
3	0,13	0,03	285	38	93	1720	22	110	295	7,43	212	197	0,76	0,66
4	0,12	0,02	265	40	89	1700	20	125	290	7,51	220	199	0,8	0,7
5	0,14	0,04	255	43	87	1705	18	115	280	7,55	224	197	0,82	0,72
6	0,15	0,05	250	45	86	1710	18	110	275	7,59	226	196	0,83	0,73
7	0,16	0,06	245	47	85	1715	19	105	270	8,01	228	195	0,84	0,74
8	0,17	0,07	240	50	84	1720	20	100	270	8,03	230	194	0,84	0,74
9	0,16	0,06	245	50	85	1725	21	95	275	8,05	232	185	0,83	0,73
10	0,15	0,05	255	45	87	1735	20	100	285	7,45	218	187	0,81	0,71
11	0,14	0,04	260	43	88	1740	19	105	290	7,43	216	188	0,8	0,7
12	0,13	0,03	265	41	89	1745	18	115	285	7,41	214	189	0,79	0,69
13	0,12	0,02	270	40	90	1750	20	110	280	7,39	212	190	0,78	0,68
14	0,11	0,01	275	38	91	1750	19	105	275	7,37	210	191	0,77	0,67
15	0,11	0,01	280	35	98	1735	19	95	280	7,39	208	195	0,74	0,64
16	0,14	0,04	285	45	97	1745	18	100	270	7,35	208	192	0,76	0,66
17	0,17	0,07	275	35	91	1710	21	120	300	7,47	216	199	0,78	0,68
18	0,16	0,06	280	35	92	1715	22	115	300	7,45	214	198	0,77	0,67
19	0,15	0,05	300	45	98	1750	20	115	290	7,45	220	185	0,84	0,74
20	0,14	0,04	295	43	97	1745	19	110	285	7,43	218	186	0,83	0,73
21	0,13	0,03	290	41	96	1740	18	105	280	7,41	216	187	0,82	0,72
22	0,12	0,02	285	40	95	1735	18	100	275	7,39	214	188	0,81	0,71
23	0,11	0,01	280	38	94	1730	19	95	270	7,37	212	189	0,8	0,7
24	0,11	0,01	275	35	93	1725	20	95	275	7,35	210	190	0,79	0,69
25	0,12	0,02	270	35	92	1720	21	100	280	7,35	208	191	0,78	0,68
26	0,13	0,03	265	38	91	1715	22	105	285	7,37	206	192	0,77	0,67
27	0,14	0,04	260	40	90	1710	22	110	290	7,39	206	193	0,76	0,66
28	0,15	0,05	255	41	89	1705	21	115	295	7,41	208	194	0,75	0,65
29	0,16	0,06	250	43	88	1700	20	120	300	7,43	210	195	0,74	0,64
30	0,17	0,07	245	45	87	1700	20	125	300	7,45	212	196	0,74	0,64
31	0,17	0,07	240	47	86	1705	19	125	295	7,47	214	197	0,75	0,65
32	0,16	0,06	245	50	85	1710	18	120	290	7,49	216	198	0,76	0,66
33	0,15	0,05	250	50	84	1715	18	115	285	7,51	218	199	0,77	0,67
34	0,14	0,04	255	47	85	1720	19	110	280	7,53	220	200	0,78	0,68
35	0,13	0,03	260	45	86	1725	20	105	275	7,55	222	199	0,79	0,69
36	0,12	0,02	265	43	87	1730	21	100	270	7,59	224	198	0,8	0,7
37	0,12	0,02	270	41	88	1735	21	95	270	8,01	226	197	0,81	0,71
38	0,13	0,03	275	40	89	1740	20	95	275	8,03	228	196	0,82	0,72
39	0,14	0,04	280	38	90	1745	19	100	280	8,05	230	195	0,83	0,73
40	0,15	0,05	285	35	91	1750	18	105	285	8,07	232	194	0,84	0,74

Величини, значення яких **приймаються незмінними** для всіх варіантів:

Величина	Позначення	Значення	Розмірність
Температура холодного двигуна	Θ_1	20	°C
Опір обмотки якоря холодного двигуна	$R_{a20^{\circ}\text{C}}$	0,0545	Ом
Опір обмотки збудження холодного двигуна	$R_{o320^{\circ}\text{C}}$	0,026	Ом
Опір обмотки додаткових полюсів холодного двигуна	$R_{дп20^{\circ}\text{C}}$	0,0245	Ом
Коефіцієнт теплового опору міді	β	0,004	°C ⁻¹
Число паралельних гілок якірної обмотки	a	1	-
Число пар полюсів тягового двигуна	p	2	-
Падіння напруги на щітках	$\Delta U_{щ}$	2÷2,5	В
Сумарна площа щіток	$\Sigma S_{щ}$	5	см ²
Коефіцієнт, що враховує тиск на щітку	$k_{тщ}$	0,6	-
Діаметр колеса	D_k	0,7	м
Довжина якоря	l_a	220	мм
Число моторних колісних пар на трамвайному вагоні	m	4	-
Індукція в якорі	B_a	1,1975	Тл
Щільність сталі	$\rho_{ст}$	$7,82 \cdot 10^3$	кг/м ³
Коефіцієнт додаткових втрат	k_d	0,6	-
Маса порожнього трамвайного вагону	$m_{пор}$	17,5	т
Маса завантаженого трамвайного вагону	$m_{зав}$	30	т
Прискорення вільного падіння	g	9,81	м/с ²
Коефіцієнт інерції обертальних мас	$(1+\gamma)$	1,12	-

1. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНІЧУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Характеристика намагнічування є залежністю магнітного потоку від струму збудження або намагнічуючої сили полюсів.

Під намагнічуючою силою розуміється добуток струму збудження на кількість витків обмотки збудження головного полюса. У практичних цілях характеристику намагнічування тягового двигуна часто представляють у вигляді залежності добутку магнітного потоку на постійну машину від струму збудження або намагнічуючої сили полюсів.

Характеристика намагнічування тягового двигуна може бути розрахована за так званою нормованою характеристикою намагнічування (табл. 1). Ряд значень в таблиці є усередненими залежностями відношення магнітного потоку, струму збудження або намагнічуючої сили до відповідних номінальних значень, виражені у відносних одиницях. Оскільки розрахунок стосується тягового двигуна послідовного збудження, то на повному полі струм збудження дорівнює струму якоря.

Таблиця 1 – Нормована характеристика намагнічування

№ з/п	I_a/I_n	F/F_n	Φ/Φ_n
1	0,1	0,1	0,3
2	0,2	0,2	0,55
3	0,3	0,3	0,69
4	0,4	0,4	0,764
5	0,5	0,5	0,823
6	0,6	0,6	0,87
7	0,7	0,7	0,91
8	0,8	0,8	0,945
9	0,9	0,9	0,971
10	1,0	1,0	1,0
11	1,15	1,15	1,0425

Тобто, для розрахунку характеристики намагнічування спочатку потрібно знайти номінальний струм тягового двигуна, номінальний магнітний потік та номінальну намагнічуючу силу.

Номінальний струм тягового двигуна знаходиться за формулою

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} \cdot \eta_n, \quad (1)$$

де P_n – номінальна потужність, Вт;

U_n – номінальна напруга, В;

η_n – номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна у відносних одиницях.

Номінальну намагнічуючу силу розраховують за формулою

$$F_n = I_n \cdot W_{oz}, \quad (2)$$

де W_{oz} – число витків обмотки збудження

Розрахунок номінального магнітного потоку проводиться за формулою

$$\Phi_n = \frac{U_n - I_n \cdot R_{дг}}{C_e \cdot n_n}, \quad (3)$$

де n_n – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.;

C_e – постійна машини, що залежить від її параметрів;

$R_{дг}$ – опір гарячого двигуна, Ом.

У практичній системі одиниць постійна машини визначається з виразу

$$C_e = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a}, \quad (4)$$

де p – число пар полюсів двигуна;

N – число активних провідників якоря;

a – число паралельних гілок якірної обмотки.

Опір гарячого двигуна знаходять за формулою

$$R_{\text{дг}} = (R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}) \cdot \alpha, \quad (5)$$

де $R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки якоря холодного двигуна, Ом;

$R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки збудження холодного двигуна, Ом;

$R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки додаткових полюсів холодного двигуна, Ом;

α – температурний коефіцієнт, що знаходять із залежності

$$\alpha = 1 + \beta(\Theta_2 - \Theta_1), \quad (6)$$

де Θ_2 – температура гарячого двигуна, $^{\circ}\text{C}$;

Θ_1 – температура холодного двигуна, $^{\circ}\text{C}$

β – коефіцієнт теплового опору міді, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Після знаходження номінальних значень струму, сили намагнічування та магнітного потоку двигуна слід помножити їх на відповідні відношення (табл.1), заповнити таблицю 2 і побудувати характеристики намагнічування $\text{Ce}\Phi = f(I_a)$ та $\text{Ce}\Phi = f(F)$.

Таблиця 2 – Дані для побудови характеристики намагнічування

№ з/п	I_a , А	F, А·витки	Φ , Вб	$\text{Ce}\Phi$, Вб
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

2. РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Швидкісною характеристикою тягового двигуна називають залежність частоти обертання валу від струму якоря.

Число обертів двигуна знаходять за формулою

$$n = \frac{U_n - I_a R_{дг}}{C_e \Phi}. \quad (7)$$

Результати розрахунку частоти обертання двигуна на повному полі потрібно занести в таблицю 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку швидкісної характеристики на повному полі

№ з/п	I_a, A	$I_a R_{дг}, B$	$C_e \Phi, Bб$	$n, об/хв$
1				
2				
3				
...				
11				

Розрахунок швидкісних характеристик двигуна на ослабленому полі дещо змінюється. Дані для побудови швидкісних характеристик на ослабленому полі потрібно занести в таблицю 4.

Таблиця 4 – Дані для побудови швидкісної характеристики на ослабленому полі

№ з/п	I_a, A	$I_{оз}, A$	$I_a R_{дг}^{оп}, B$	$C_e \Phi_{оп}, Bб$	$n_{оп}, об/хв$
1					
2					
3					
...					
11					

На ослабленому полі до обмотки збудження двигуна підключається індуктивний шунт, внаслідок чого опір гарячого двигуна $R_{дг}$ змінюється.

Опір індуктивного шунта знаходять за формулою

$$R_{\text{ш}} = \frac{\gamma_{\text{оп}} \cdot R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}}}{1 - \gamma_{\text{оп}}}, \quad (8)$$

де $\gamma_{\text{оп}}$ – коефіцієнт ослаблення поля.

Тоді, з урахуванням підключення індуктивного шунта до обмотки збудження двигуна, опір гарячого двигуна на ослабленому полі зміниться таким чином:

$$R_{\text{дг}}^{\text{оп}} = (R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}} + \frac{R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} \cdot R_{\text{ш}}}{R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{ш}}} + R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}) \cdot \alpha, \quad (9)$$

Для розрахунку частоти обертання двигуна на ослабленому полі використовуються ті ж самі струми якоря $I_{\text{а}}$, що і для повного поля. Але для визначення магнітного потоку $\text{Се}\Phi_{\text{оп}}$ використовуються струми збудження, які розраховуються за формулою

$$I_{\text{оз}} = I_{\text{а}} \cdot \gamma_{\text{оп}}. \quad (10)$$

Користуючись розрахованими струмами $I_{\text{оз}}$, за характеристикою намагнічування $\text{Се}\Phi = f(I_{\text{а}})$ знаходять значення магнітного потоку $\text{Се}\Phi_{\text{оп}}$.

Число обертів двигуна на ослабленому полі розраховують за формулою

$$n_{\text{оп}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{а}} R_{\text{дг}}^{\text{оп}}}{\text{Се}\Phi_{\text{оп}}}, \quad (11)$$

Розрахунок за формулами (8)–(11) проводять для двох ступенів ослаблення поля, використовуючи $\gamma_{\text{оп1}}$ і $\gamma_{\text{оп2}}$, згідно з завданням.

За результатами розрахунків потрібно побудувати в одних координатах залежності $n = f(I_{\text{а}})$, $n_{\text{оп1}} = f(I_{\text{а}})$, $n_{\text{оп2}} = f(I_{\text{а}})$.

3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК К.К.Д.

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) визначається як відношення корисної потужності до потужності, що споживається з мережі. Корисна ж потужність менша за споживану на величину втрат в двигуні. Частина споживаної енергії при роботі двигуна втрачається марно і розсіюється у вигляді тепла. Потужність втраченої енергії називають втратами потужності.

Втрати в двигуні поділяються на основні і додаткові. Основні, в свою чергу, складаються з механічних, магнітних (втрат у сталі) і електричних втрат.

До механічних втрат відносять втрати в підшипниках, втрати на тертя щіток об колектор і вентиляційні втрати. Магнітні втрати залежать від втрат в осерді якоря і втрат у зубчатому шарі. Електричні втрати складаються з втрат на нагрів обмоток та електричних втрат у щітках

Побудова характеристик к.к.д. вимагає заповнення трьох таблиць (режим повного поля та два ступеня ослаблення поля) такої форми (табл.5).

Таблиця 5 – Результати розрахунку характеристики к.к.д.

№ з/п	I а	n	f	P підш	V кол	P тер.щ	V а	P вент	P мех	P а	G а	P _{ст}	P мід	P щіт	P е	P д	ΣP	P	η
1																			
2																			
3																			
...																			
11																			

Механічні втрати розраховують за формулою

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{підш}} + P_{\text{тер.щ}} + P_{\text{вент}}, \quad (12)$$

де $P_{\text{підш}}$ – втрати в підшипниках, Вт;

$P_{\text{тер.щ}}$ – втрати на тертя щіток об колектор, Вт;

$P_{\text{вент}}$ – втрати на вентиляцію, Вт.

Втрати в підшипниках визначають з виразу

$$P_{\text{підш}} = 0,002 U_{\text{н}} I_{\text{н}}. \quad (13)$$

Втрати на тертя в щіточному механізмі дорівнюють:

$$P_{\text{тер.щ}} = \Sigma S_{\text{щ}} \cdot 2p_{\text{щ}} \cdot k_{\text{тщ}} \cdot V_{\text{кол}}, \quad (14)$$

де $\Sigma S_{\text{щ}}$ – сумарна площа щіток, см^2 ;

$k_{\text{тщ}}$ – коефіцієнт, що враховує тиск на щітку;

$2p_{\text{щ}}$ – число щіткотримачів, приймається $2p_{\text{щ}} = 2p$;

$V_{\text{кол}}$ – лінійна швидкість колектору, м/с .

Лінійну швидкість колектору визначають за формулою

$$V_{\text{кол}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кол}}}{60} \cdot n, \quad (15)$$

де $D_{\text{кол}}$ – діаметр колектора, м .

Вентиляційні втрати дорівнюють:

$$P_{\text{вент}} = 0,03 \cdot V_{\text{а}}^3, \quad (16)$$

де $V_{\text{а}}$ – лінійна швидкість якоря, м/с .

Лінійна швидкість якоря дорівнює:

$$V_{\text{а}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{а}}}{60} \cdot n, \quad (17)$$

де $D_{\text{а}}$ – діаметр якоря, м .

Магнітні втрати знаходяться за формулою

$$P_{\text{ст}} = 2,7 \cdot (P_a G_a + P_z G_z), \quad (18)$$

де P_a – питомі втрати в якорі, Вт/кг;

P_z – питомі втрати в зубчатому шарі, Вт/кг;

G_a – маса якоря, кг;

G_z – маса зубчатого шару, кг.

Втрати у зубчатому шарі занадто малі, як і маса цього шару, тож ними в даному розрахунку нехтують.

Питомі втрати в якорі знаходять з емпіричного виразу

$$P_a = \left[0,044 \cdot f + 5,6 \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot B_a^2, \quad (19)$$

де f – частота перемагнічування якоря, Гц;

B_a – індукція в якорі, Тл.

Частоту перемагнічування f обчислюють із співвідношення

$$f = \frac{p \cdot n}{60}. \quad (20)$$

Маса якоря розраховується за формулою

$$G_a = \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} \cdot l_a \cdot \rho_{\text{ст}}, \quad (21)$$

де l_a – довжина осердя якоря, м;

$\rho_{\text{ст}}$ – щільність сталі, кг/м³.

Отже, магнітні втрати дорівнюють:

$$P_{\text{ст}} \approx 2,7 \cdot P_a G_a . \quad (22)$$

Електричні втрати знаходяться з виразу

$$P_e = P_{\text{мід}} + P_{\text{щіт}} , \quad (23)$$

де $P_{\text{мід}}$ – втрати на нагрів обмоток, Вт;

$P_{\text{щіт}}$ – втрати у щітках, Вт.

Втрати на нагрів обмоток розраховуються за формулою

$$P_{\text{мід}} = I_a^2 R_{\text{дг}} . \quad (24)$$

Причому опір гарячого двигуна змінюється залежно від режиму (повне поле, ослаблене поле).

Втрати у щітках визначаються так:

$$P_{\text{щіт}} = \Delta U_{\text{щ}} \cdot I_a , \quad (25)$$

де $\Delta U_{\text{щ}}$ – падіння напруги на щітках, В

Додаткові втрати визначають наступним чином:

$$P_d = P_{\text{ст}} \cdot k_d , \quad (26)$$

де k_d – коефіцієнт додаткових втрат.

Сумарні втрати в двигуні знаходять з виразу

$$\Sigma P = P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}} + P_e + P_d . \quad (27)$$

Потужність, що береться з мережі, обчислюється таким чином:

$$P = U_n \cdot I_a. \quad (28)$$

На основі попередніх обчислень визначається коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{P_{\text{кор}}}{P} = \frac{P - \sum P}{P} = 1 - \frac{\sum P}{P}, \quad (29)$$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна потужність (потужність на валу двигуна).

За результатами розрахунків потрібно побудувати в одних координатах залежності $\eta=f(I_a)$, $\eta_{\text{оп1}}=f(I_a)$, $\eta_{\text{оп2}}=f(I_a)$.

4. РОЗРАХУНОК ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

З механіки відомо, що порушення стану покою або зміна швидкості руху центру тяжіння будь-якого тіла можна спричинити тільки зовнішніми силами, що діють на це тіло.

Обертальний момент, що розвивається тяговим двигуном, зумовлений внутрішніми силами і призводить лише до обертання колеса, але не може викликати поступальний рух рухомого складу. Для зрушення з місця на рухомий склад повинна діяти зовнішня сила. Зовнішня сила виникає при контакті колеса з покриттям будь-якого виду. Прикладена до колеса зовнішня сила F_k , є силою зчеплення, що направлена по дотичній до окружності колеса в точці його дотику з рейками (або дорожнім покриттям), і також ця сила є силою тяги, що прикладена до геометричного центру колеса і викликає переміщення рухомого складу. Тому силу зчеплення F_k називають дотичною силою тяги колісної пари. Зазвичай на рухомій одиниці не одна моторна колісна пара, а декілька, тому результуюча сила тяги $F_{\text{ро}}$ дорівнює алгебраїчній сумі всіх F_k .

Залежність між силою тяги рухомої одиниці і її швидкістю на тому чи іншому ступеню регулювання і відповідних йому параметрах схеми включення двигуна називається тяговою характеристикою рухомої одиниці.

Дотична сила тяги колісної пари розраховується за формулою

$$F_{ki} = \frac{M \cdot \mu}{R_k}, \quad (30)$$

де M – момент тягового двигуна, Н·м;

μ – передатне відношення редуктора;

R_k – радіус колеса, м.

Момент на валу двигуна визначається з виразу

$$M = 9,74 \frac{U_n \cdot I_a}{n} \cdot \eta, \quad (31)$$

де D_k – діаметр колеса, м.

Сила тяги рухомої одиниці обчислюється так:

$$F_{po} = \sum_{i=1}^m F_{ki}, \quad (32)$$

де m – кількість моторних колісних пар.

Швидкість рухомої одиниці розраховується за формулою

$$V = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n}{60 \cdot \mu}. \quad (33)$$

Розрахунок ведеться для трьох режимів (режим повного поля та два ступеня ослаблення поля) і результати заносяться до трьох таблиць наступного виду:

Таблиця 6 – Результати розрахунку тягових характеристик

№ з/п	I_a	n	η	M	F_{ki}	F_{po}	V
1							
2							
3							
...							
11							

За результатами розрахунків потрібно побудувати в одних координатах залежності $F_{po}=f(V)$, $F_{po\text{ оп1}}=f(V_{\text{оп1}})$, $F_{po\text{ оп2}}=f(V_{\text{оп2}})$.

5. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ СИЛ ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКАМИ

Коефіцієнт зчеплення ψ є одним з головних чинників, що впливають на експлуатаційні і техніко-економічні показники електричного транспорту. Від нього залежить вибір маси рухомого складу, допустимої швидкості руху, максимально допустимого ухилу, прискорення і гальмування. Він також визначає граничні сили тяги і гальмування за умовами зчеплення.

Сила тяги обмежується гранично допустимою силою зчеплення, що мають природу сил тертя. Якщо ця межа буде перевищена, станеться зрив зчеплення і почнеться боксування коліс, під час якого відбувається підвищений знос бандажів і рейок. Якщо в режимі гальмування гальмівна сила перевищить гранично допустиму силу зчеплення, колеса почнуть ковзати відносно поверхні шляху. Це явище називається юзом і є загрозою для безпеки руху, оскільки під час юзу збільшується час гальмування і гальмівний шлях. Окрім того, як і під час боксування, відбувається сильне стирання бандажів колісних пар.

Величину граничних сил зчеплення залежно від стану верхньої будови шляху знаходять з виразу

$$F_{\text{зч}} = Q \cdot \psi \cdot \rho, \quad (34)$$

де Q – вага вагону, Н;

ψ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейками;

ρ – жорсткість характеристики зчеплення, яка показує ступінь зниження сили зчеплення залежно від швидкості вагону.

Вага вагону розраховується за формулою

$$Q = m \cdot g, \quad (35)$$

де m – маса вагону, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

При розрахунку сил зчеплення потрібно враховувати, що трамвайний вагон може рухатися як порожнім, так і завантаженим (змінюється вага), а також як на чистих, так і на забруднених рейках (змінюється коефіцієнт зчеплення). Результати розрахунку заносять до таблиці 7.

За отриманими даними на тягові характеристики, побудовані в попередньому розділі, наносять всі чотири характеристики зчеплення $F_{\text{зч}}=f(V)$, визначають координати їхніх точок перетину з тяговими характеристиками трьох режимів і заносять в таблицю 8.

Таблиця 7 – Результати розрахунку сил зчеплення

V , км/год	ρ	$F_{зч}$ порожній вагон, чисті рейки	$F_{зч}$ порожній вагон, брудні рейки	$F_{зч}$ завантажений вагон, чисті рейки	$F_{зч}$ завантажений вагон, брудні рейки
0	1				
3,6	0,8				
7,2	0,72				
10,8	0,65				
14,4	0,6				
18	0,57				
36	0,45				
54	0,36				
72	0,3				
90	0,25				
100,8	0,225				

Таблиця 8 – Граничні сили зчеплення

Режим	$F_{зч}$ порожній вагон, чисті рейки		$F_{зч}$ порожній вагон, брудні рейки		$F_{зч}$ завантажений вагон, чисті рейки		$F_{зч}$ завантажений вагон, брудні рейки	
	$F_{зч.гр.}$, Н	V , км/год	$F_{зч.гр.}$, Н	V , км/год	$F_{зч.гр.}$, Н	V , км/год	$F_{зч.гр.}$, Н	V , км/год
Пуск		0		0		0		0
ПП								
ОП1								
ОП2								

6. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ І ВІДСОТКУ ВИКОРИСТАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Визначення прискорення порожнього і навантаженого вагону Т-3 при пуску, виходу на автоматичну характеристику і ослабленні поля першого й другого ступеня проводимо за формулою

$$a = \frac{F_{зч.гр} - Q \cdot \omega_0}{102 \cdot Q \cdot (1 + \gamma)}, \quad (36)$$

де a – прискорення, м/с^2 ;

$F_{\text{зч гр}}$ – гранична сила зчеплення, Н;

Q – вага вагону, кН;

ω_0 – основний питомий опір руху, Н/кН;

$(1+\gamma)$ – коефіцієнт інерції обертальних мас.

Основний питомий опір руху визначається з виразу

$$\omega_0 = 5 + 0,005 \cdot V^2, \quad (37)$$

де V – швидкість вагону на тому чи іншому режимі, що відповідає $F_{\text{зч гр}}$ (табл.8), км/год.

Результати обчислень заносять до таблиці 9.

Таблиця 9 – Результати розрахунку прискорення

Режим	Порожній вагон		Завантажений вагон	
	чисті рейки	брудні рейки	чисті рейки	брудні рейки
Пуск				
ПП				
ОП1				
ОП2				

Для розрахунку відсотка використання встановленої потужності необхідно віднести використовувану потужність рухомої одиниці, обумовлену силами зчеплення, до встановленої:

$$P\% = \frac{P_{\text{вик}}}{P_{\text{вст}}} \cdot 100\% = \frac{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{а}}^{\text{зч}}}{P_{\text{н}} \cdot \eta^{\text{зч}}} \cdot 100\%, \quad (38)$$

де $P_{\text{вик}}$ – використовувана потужність двигуна, обумовлена силами зчеплення, Вт;

$P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність двигуна, Вт.

Для знаходження $I_a^{3ч}$ потрібно виконати такі дії:

- за даними, отриманими в четвертому розділі, побудувати в одних координатах допоміжні криві $F_{po}=f(I_a)$, $F_{po\ op1}=f(I_a)$, $F_{po\ op2}=f(I_a)$;
- за значеннями $F_{зч\ гр}$ знайти графічним методом відповідні значення $I_a^{3ч}$;
- пошук $I_a^{3ч}$ як в режимі повного поля, так і при пуску здійснювати за характеристикою $F_{po}=f(I_a)$.

Значення $\eta^{3ч}$ знайти за характеристиками, побудованими в третьому розділі, спираючись на отримані $I_a^{3ч}$ (під час пошуку як в режимі повного поля, так і при пуску користуватися залежністю $\eta=f(I_a)$).

Результати розрахунку відсотка використання встановленої потужності занести в таблицю 10.

Таблиця 10 – Результати визначення відсотку використання встановленої потужності

Наповнення	Покриття		$F_{зч.гр}, Н$	$I_a^{3ч}, А$	$\eta^{3ч}, в.о.$	$P, \%$
Порожній вагон	Чисті рейки	Пуск				
		ПП				
		ОП1				
		ОП2				
	Брудні рейки	Пуск				
		ПП				
		ОП1				
		ОП2				
Завантажений вагон	Чисті рейки	Пуск				
		ПП				
		ОП1				
		ОП2				
	Брудні рейки	Пуск				
		ПП				
		ОП1				
		ОП2				

На підставі отриманих результатів **необхідно зробити висновки** про вплив коефіцієнта зчеплення на тягові властивості трамваю і на використання встановленої потужності.

7. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ РОЗБІЖНОСТЕЙ СИЛ ТЯГИ МІЖ ДВОМА КОЛІСНИМИ ПАРАМИ

На моторному трамвайному вагоні кожна колісна пара приводиться в обертання окремим двигуном (так званий індивідуальний привод). Результируюча сила тяги утворюється сумою сил тяги окремих колісних пар. Всі двигуни і колісні пари не однакові і працюють в різних умовах. Розбіжність струмів двигунів тим вища, чим більше значення споживаного струму і його межа може сягати великих значень. Така нерівномірність струморозподілу обумовлена конструктивними, технологічними і експлуатаційними характеристиками візків трамвайних вагонів.

До конструктивних чинників слід віднести різну відстань між двигунами і загальною точкою живлення. Звідси відмінність довжин і опорів проводів якірного кола і кола збудження.

До технологічних чинників відносяться допуски на величини повітряних зазорів між якорем і головними полюсами, відмінності в коерцитивних властивостях електротехнічної сталі, допуски на колекторну і обмотувальну мідь, щітки.

До експлуатаційних чинників слід віднести допуски на діаметри бандажів колісних пар за кругами катання, розбіжність перехідних опорів контакторів.

Нерівномірність струморозподілу значно зменшує надійність роботи тягових двигунів. Збільшення різниці струму, що приводить до зміни частоти обертання якоря двигуна на 1%, приводить до двократного зростання відмов.

Перегрів машини на 8°C удвічі зменшує термін служби її ізоляції, тобто термін служби двигуна. Електромагнітний момент двигуна, сили тяги і гальмування пропорційні струмам тягових електродвигунів. Перевантажені машини створюють істотно великі тягово-гальмівні моменти, що призводить до боксування або юзу коліс, сполучених з цими двигунами.

Залежність різниці струмів від величини повітряних зазорів може досягати значень 250 А/мм. Відхилення індукції в 1,5 рази призводить майже до

двократної зміни нерівномірності струморозподілу, що веде до небажаних наслідків і в першу чергу до перевитрат ресурсів при експлуатації міського електротранспорту.

В розрахунково графічній роботі розрахунок проводиться за чотирма основними факторами, що впливають на розбіжність сил тяги і нерівномірність струморозподілу.

7.1 Розбіжність магнітних характеристик двигунів

Згідно з ГОСТ 2582-81 розходження магнітних характеристик тягових двигунів на повному полі може досягати $\pm 3\%$, на ослаблених полях першого і другого ступеня – $\pm 5\%$ і $\pm 7\%$ відповідно.

Тобто, магнітний потік Φ , що розрахований для повного поля у першому розділі, а для ослаблених полів – у другому, треба збільшити та зменшити на 3%, 5% і 7% відповідно. Враховуючи отримані Φ і користуючись виразами (7), (11), (30), (31), (33), обчислити нові значення n , M , F_{ki} , V для різних режимів (к.к.д. при цьому використовувати той, що розрахований у третьому розділі) і оформити результати в табличному вигляді.

Таблиця 11 – Результати розрахунку тягових характеристик на повному полі

ПП ($\pm 3\%$)						
№ з/п	I_a	Φ (+3%)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						
№ з/п	I_a	Φ (-3%)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						

Таблиця 12 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі першого ступеня

ОП1 ($\pm 5\%$)						
№ з/п	I_a	$Ce\Phi_{on1}$ ($+5\%$)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						
№ з/п	I_a	$Ce\Phi_{on1}$ (-5%)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						

Таблиця 13 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі другого ступеня

ОП2 ($\pm 7\%$)						
№ з/п	I_a	$Ce\Phi_{on2}$ ($+7\%$)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						
№ з/п	I_a	$Ce\Phi_{on2}$ (-7%)	n	M	F_{ki}	V
1						
...						
11						

Для визначення розбіжності сил тяги колісних пар через розходження магнітних характеристик потрібно:

- за отриманими даними (табл. 11-13) побудувати на трьох окремих графіках попарно залежності $F_{ki}=f(V)$: $+3\%$ і -3% , $+5\%$ і -5% , $+7\%$ і -7% ;
- задатися декількома значеннями швидкості в діапазоні, наприклад, від 30 до 50 км/год.;
- за характеристиками $F_{ki}=f(V)$ визначити ΔF_k між позитивними і негативними допусками на обраних швидкостях;
- отримані значення ΔF_k на трьох режимах занести в табл. 14.

Таблиця 14 – Розбіжність сил тяги колісних пар через розходження магнітних характеристик

V, км/год	35	40	45	50	55
$\Delta F_{кПП}$					
$\Delta F_{кОП1}$					
$\Delta F_{кОП2}$					

7.2 Розбіжність опорів якірного ланцюгу

Граничні розбіжності опорів якірного кола складають $\pm 6\%$. При розрахунку за 100% приймається опори гарячого двигуна $R_{дг}$, $R_{дг}^{оп1}$, $R_{дг}^{оп2}$. Значення магнітного потоку Φ розраховані для повного поля у першому розділі, а для ослаблених полів – у другому, к.к.д. для всіх режимів – у третьому. Враховуючи отримані опори гарячого двигуна і користуючись виразами (7), (11), (30), (31), (33), обчислити нові значення n , M , $F_{кi}$, V для різних режимів і оформити результати в табличному вигляді.

Таблиця 15 – Результати розрахунку тягових характеристик на повному полі

ПП ($R_{дг} \pm 6\%$)							
№ з/п	I_a	$R_{дг} (+6\%)$	Φ	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							
№ з/п	I_a	$R_{дг} (-6\%)$	Φ	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							

Таблиця 16 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі першого ступеня

ОП1 ($R_{дг}^{оп1} \pm 6\%$)							
№ з/п	I_a	$R_{дг}^{оп1}$ (+6%)	$Ce\Phi_{оп1}$	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							
№ з/п	I_a	$R_{дг}^{оп1}$ (-6%)	$Ce\Phi_{оп1}$	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							

Таблиця 17 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі другого ступеня

ОП2 ($R_{дг}^{оп2} \pm 6\%$)							
№ з/п	I_a	$R_{дг}^{оп2}$ (+6%)	$Ce\Phi_{оп2}$	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							
№ з/п	I_a	$R_{дг}^{оп2}$ (-6%)	$Ce\Phi_{оп2}$	n	M	$F_{кi}$	V
1							
...							
11							

Для визначення розбіжності сил тяги колісних пар через розходження опорів якірного кола потрібно:

- за отриманими даними (табл. 15-17) побудувати на трьох окремих графіках попарно залежності $F_{кi}=f(V)$: $ПП\pm 6\%$, $ОП1\pm 6\%$, $ОП2\pm 6\%$;
- задатися тими самими, що й в п. 7.1, значеннями швидкості в діапазоні, наприклад, від 30 до 50 км/год.;
- за характеристиками $F_{кi}=f(V)$ визначити ΔF_k між позитивними і негативними допусками на обраних швидкостях;
- отримані значення ΔF_k на трьох режимах занести в табл. 18.

Таблиця 18 – Розбіжність сил тяги колісних пар через розходження опорів якірного кола

V, км/год	35	40	45	50	55
$\Delta F_{кIII}$					
$\Delta F_{кОП1}$					
$\Delta F_{кОП2}$					

7.3 Розбіжність опорів ланцюгів збудження

На ослабленні поля першого і другого ступеня паралельно обмоткам збудження включається індуктивний шунт. За рахунок розходження довжин сполучних проводів і перехідних опорів контактів, розбіжність опорів ланцюгів обмотки збудження може складати до $\pm 27\%$.

Опори індуктивних шунтів для ослаблення поля обох ступенів визначені з виразу (8). Нескладно знайти нові опори ланцюгів індуктивних шунтів $R'_{iш}$, що включають допуски. Визначають опір індуктивного шунта для першого і другого ступенів ослаблення поля з урахуванням допусків на них, тобто одержують два значення опору індуктивного шунта на ослабленні поля першого ступеня і два значення на ослабленні поля другого ступеня. За цими значеннями встановлюють нові величини коефіцієнтів ослаблення поля за формулою

$$\gamma'_{оп}(\pm 27\%) = \frac{R'_{iш}(\pm 27\%)}{R_{о320^{\circ}C} + R'_{iш}(\pm 27\%)}. \quad (39)$$

Використовуючи отримані значення коефіцієнтів ослаблення поля струми збудження знаходять з виразу

$$I'_{о3}(\pm 27\%) = I_a \cdot \gamma'_{оп}(\pm 27\%). \quad (40)$$

Користуючись новими струмами збудження I'_{oz} за характеристикою намагнічування, що побудована в першому розділі, знаходять магнітні потоки $\Phi'_{оп}$.

Нові опори гарячих двигунів $R'_{дг}^{оп}$ знаходять за формулою

$$R'_{дг}^{оп} = (R_{a20^{\circ}C} + \frac{R_{oz20^{\circ}C} \cdot R'_{иш}(\pm 27\%)}{R_{oz20^{\circ}C} + R'_{иш}(\pm 27\%)} + R_{дп20^{\circ}C}) \cdot \alpha \quad (41)$$

Враховуючи отримані опори гарячого двигуна $R'_{дг}^{оп}$ і користуючись виразами (11), (30), (31), (33), обчислити нові значення n , M , F_{ki} , V для двох режимів ослаблення поля і заповнити таблиці.

Таблиця 19 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі першого ступеня

ОП1 ($R_{иш}^{оп1} \pm 27\%$)								
№ з/п	I_a	I'_{oz} ($\gamma'_{оп1} + 27\%$)	$R'_{дг}^{оп1}$ ($R_{иш}^{оп1} + 27\%$)	$\Phi'_{оп1}$ ($I'_{oz} + 27\%$)	n	M	F_{ki}	V
1								
...								
11								
№ з/п	I_a	I'_{oz} ($\gamma'_{оп1} - 27\%$)	$R'_{дг}^{оп1}$ ($R_{иш}^{оп1} - 27\%$)	$\Phi'_{оп1}$ ($I'_{oz} - 27\%$)	n	M	F_{ki}	V
1								
...								
11								

Таблиця 20 – Результати розрахунку тягових характеристик на ослабленому полі другого ступеня

ОП2 ($R_{\text{ш}}^{\text{оп2}} \pm 27\%$)								
№ з/П	I_a	$I'_{\text{оз}} (\gamma'_{\text{оп2}} + 27\%)$	$R'_{\text{др}}^{\text{оп2}} (R_{\text{ш}}^{\text{оп2}} + 27\%)$	$\text{Ce}\Phi'_{\text{оп2}} (I'_{\text{оз}} + 27\%)$	n	M	$F_{\text{ки}}$	V
1								
...								
11								
№ з/П	I_a	$I'_{\text{оз}} (\gamma'_{\text{оп2}} - 27\%)$	$R'_{\text{др}}^{\text{оп2}} (R_{\text{ш}}^{\text{оп2}} - 27\%)$	$\text{Ce}\Phi'_{\text{оп2}} (I'_{\text{оз}} - 27\%)$	n	M	$F_{\text{ки}}$	V
1								
...								
11								

Для визначення розбіжності сил тяги колісних пар через розходження опорів ланцюгів збудження потрібно:

- за отриманими даними (табл. 19-20) побудувати на двох окремих графіках попарно залежності $F_{\text{ки}} = f(V)$: ОП1 \pm 27%, ОП2 \pm 27%;
- задатися тими самими, що й в п.7.1, п.7.2, значеннями швидкості в діапазоні, наприклад, від 30 до 50 км/год.;
- за характеристиками $F_{\text{ки}} = f(V)$ визначити ΔF_k між позитивними і негативними допусками на обраних швидкостях;
- отримані значення ΔF_k на трьох режимах занести в таблицю 21.

Таблиця 21 – Розбіжність сил тяги колісних пар через розходження опорів ланцюгів збудження

V, км/год	35	40	45	50	55
$\Delta F_{\text{кОП1}}$					
$\Delta F_{\text{кОП2}}$					

7.4 Розбіжність діаметрів бандажів колісних пар

Розбіжність діаметрів бандажів колісних пар може досягати 16 мм, причому цей розмір може відрізнятися від номінального тільки у бік зменшення,

тобто одна колісна пара може мати номінальний діаметр 700, а друга – діаметр граничного зносу 684 мм. Сили тяги колісної пари з номінальним діаметром були знайдені в четвертому розділі.

Враховуючи діаметр колеса 684 мм і користуючись виразами (30), (31), (33), обчислити нові значення M , F_{ki} , V для трьох режимів (частота обертання двигуна розрахована в другому, а к.к.д. – в третьому розділах) і результати оформити в такій формі (табл. 22).

Таблиця 22 – Результати розрахунку тягових характеристик колісних пар ($D_k=684$ мм)

№ з/п	I_a	n	M	F_{ki}	V
1					
...					
11					

Для визначення розбіжності сил тяги колісних пар через розбіжність діаметрів бандажів потрібно:

- за отриманими даними (табл. 22) побудувати на трьох окремих графіках попарно залежності $F_{ki}=f(V)$: для режиму ПП з $D_k=700$ мм і $D_k=684$ мм, те саме для режимів ОП1 та ОП2;
- задатися тими самими, що й в пп.7.1-7.3, значеннями швидкості в діапазоні, наприклад, від 30 до 50 км/год.;
- за характеристиками $F_{ki}=f(V)$ визначити ΔF_k між позитивними і негативними допусками на обраних швидкостях;
- отримані значення ΔF_k на трьох режимах занести в таблицю 23.

Таблиця 23 – Розбіжність сил тяги колісних пар через розходження діаметрів бандажів

V, км/год	35	40	45	50	55
$\Delta F_{кПП}$					
$\Delta F_{кОП1}$					
$\Delta F_{кОП2}$					

8. СУКУПНИЙ ВПЛИВ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ СИЛ ТЯГИ КОЛІСНИХ ПАР ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА

Для визначення нерівномірності сил тяги трамвайного вагона потрібно визначити сумарну граничну нерівномірність сил тяги двох колісних пар шляхом сумування даних, що містяться в табл. 14, 18, 21, 23.

Ці дані будуть справедливі, якщо всі фактори одночасно дістануть своїх граничних значень. Але таке можливо тільки в теорії, тож для розрахунку з достатньою імовірністю можна вважати, що гранична нерівномірність сил тяги двох колісних пар складає 70% від сумарної, що приймається за 100%. Отримані дані заносимо в таблицю 24.

Таблиця 24 – Сумарна нерівномірність сил тяги трамвайного вагона

V, км/год	35	40	45	50	55
$\Sigma \Delta F_{кПП}(-30\%)$					
$\Sigma \Delta F_{кОП1}(-30\%)$					
$\Sigma \Delta F_{кОП2}(-30\%)$					

Результати розрахунку слід зобразити графічно ($\Sigma \Delta F_{ki}(-30\%) = f(V)$). **Дати висновок** про вплив нерівномірності сил тяги на експлуатаційні властивості рухомої одиниці, а також запропонувати рекомендації з усунення цього явища.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Иванов М.Д., Пономарев А.А., Иеропольский Б.К. Трамвайные вагоны Т-3. – М.: Транспорт, 1977. – 240 с.
2. Байрыева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга: Городской наземный транспорт: Учебник для техникумов. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
3. ГОСТ 2582 – 81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. Действующий с 01.01.1983. М. – ИПК Издательство стандартов, 1998. – 36 с.
4. ДСТУ 3051 – 95 (ГОСТ 30166 – 95). Ресурсозбереження. Основні положення. Чинний від 01.01.1997. – К.: Держстандарт України, 1996. – 8с.
5. ДСТУ 3886-99. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. Чинний від 01.07.2000. К.: Держстандарт України, 2000. – 54 с.
6. Карпушин Е.І. Енергозаощадження на міському електротранспорті за рахунок удосконалення організації експлуатації. //Коммунальное хозяйство городов, вып. 28. - К: Техніка. – 2000. – С.216 – 223.
7. Андерс В.И. Проектирование тяговых электрических машин городского электрического транспорта. – М.: Моск. энерг. ин-т., 1985. – 96 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
та самостійної роботи студентів з дисципліни

«Ресурсозбереження на транспорті»

(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом
(0922) 6.050702 «Електромеханіка»)

Укладачі **ДАЛЕКА** Василь Хомич,
МІНЄЄВА Юлія Віталіївна,
ГОРДІЄНКО Ольга Сергіївна,
ГАРБУЗ Нонна Володимирівна

Відповідальний за випуск: проф., д.т.н. *В. Х. Далека*

Авторська редакція

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 160 М

Підп. до друку 28.12.2010	Формат 60x84/16
Друк на ризографі	Ум. друк. арк. 1,5
Тираж 50 пр.	Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.